



Bojan Jošt,
Janez Vodičar

Kako rešiti problem »predolgih« skokov smučarjev skakalcev?

Izvleček

Športna javnost si želi ob spremljanju tekmovanj v smučarskih skokih vse bolj dolge skoke, ki se v več primerih kažejo tudi s skoki in poleti čez točko velikosti skakalnice (L). Rekordni poleti so glede na sedanjo velikost skakalnic preprosto prenevarni za smučarje skakalce. V nevarnosti pa so predvsem najboljši skakalci. Pri doskoku smučarjev skakalcev preko točke velikosti skakalnice se znatno povečata sila pritiska na podlago in z njo povezana sila trenja ob hkratnem delovanju centrifugalne sile. Prav zaradi tega je bil glavni cilj raziskave ugotoviti velikost impulza sile pritiska na podlago pri vertikalnem seskoku z različne višine. Raziskava je bila 3. 4. 2018 izvedena na mladem skakalcu (Ž. M. – TT 62,7 kg) v biomehanskem laboratoriju Fakultete za šport. Merjenec je napravil vertikalni seskok s postopno dvignjene višine na tenziometrijsko ploščo. Višina seskoka se je dvigovala iz začetnih 20 cm postopoma do višine 2,45 m (20 cm – 2 m/s, 45 cm – 3 m/s, 80 cm – 4 m/s, 125 cm – 5 m/s, 180 cm – 6 m/s, 245 cm – 8 m/s). Velikost impulza sile pritiska na podlago se je postopoma zviševala glede na višino seskoka. Mladi skakalec pri seskoku z višine 245 cm ni uspel premagati pritiska na telo v srednje visokem položaju z normalno ublažitvijo, ampak se je njegov doskok končal v globokem počepu. Maksimalna sila pritiska na telo pri doskoku je v času 0,25 sekunde po začetnem stiku s podlago dosegla približno 3500 N (približno 5,6-kratnik telesne teže skakalca). Visok prirastek sile pritiska na podlago učinkuje na splošno v času 0,5 sekunde. S tega zornega kota bi se tako morala določiti točka začetka še varnega doskoka vsaj na razdalji, ki ustreza hitrosti leta tik pred doskokom in času 0,5 sekunde po začetku doskoka. Pri hitrosti 30 m/s bi bila ta razdalja 15 m. Omenjena razdalja bi na splošno pomenila približno 5 % velikosti sedanje točke velikosti skakalnice L (pri skakalnici HS100m bi ta razdalja znašala 5 m).

Ključne besede: smučarski skoki, doskok, sila pritiska, profil skakalnice.

How to resolve the problem of 'too long' jumps by ski jumpers?

Abstract

When following ski jumping competitions, the sporting public wants increasingly longer jumps which, in many cases, lead to jumping and flying performances beyond the hill size point (L). Given the current sizes of ski jumping hills, record-breaking flights have simply become too dangerous for ski jumpers. Exposed to the highest risk are mostly elite ski jumpers. When ski jumpers land beyond the hill size point, the ground reaction force and the related friction force increase considerably, with the concurrent action of centrifugal force. Hence, the research mainly aimed at establishing the size of the impulse of ground reaction force in vertical jumps taken from different heights. The research was conducted on 3 April 2018 with a young ski jumper (Ž.M.; BM: 62.7 kg) in the biomechanical laboratory of the Faculty of Sport. The study subject performed vertical jumps from gradually increased heights on the Kistler force plate. The height of the vertical jump increased from the starting 20 cm to 2.45 m (20 cm – 2 m/s, 45 cm – 3 m/s, 80 cm – 4 m/s, 125 cm – 5 m/s, 180 cm – 6 m/s, 245 cm – 8 m/s). The size of the impulse of ground reaction force increased gradually with the increasing height of jumps. When jumping from 245 cm, the young ski jumper was not able to overcome the pressure on the body in the medium-high position with normal alleviation, so he completed his jump in a deep squat. The maximum ground reaction force during landing, at 0.25 sec after the first contact with the ground, reached about 3500 N (about 5.6 times the ski jumper's body mass). The steep growth in the ground reaction force generally takes effect in 0.5 sec. From this point of view the starting point for a still safe landing should be determined at least at the distance corresponding to the flight velocity immediately before landing and at 0.5 sec. In the case of 30 m/s velocity, such a distance would be 15 m. This distance would generally mean 5% of the size of the current hill size L (in the case of a jumping hill HS100m, the distance would be 5 m).

Key words: ski jumps, landing, ground reaction force, ski jumping hill profile

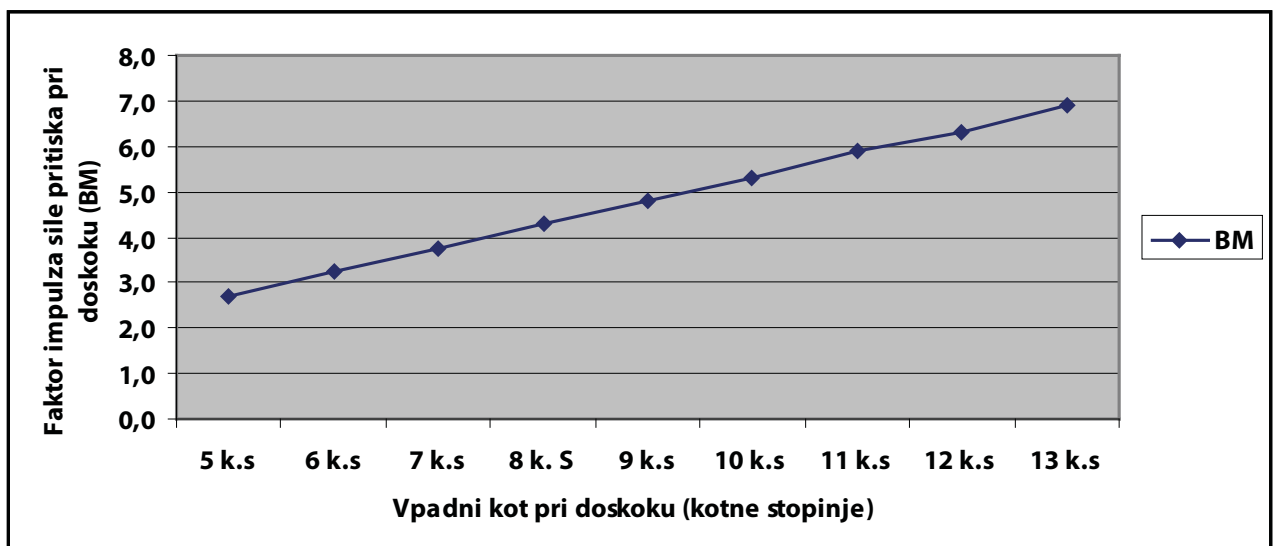


Uvod

Športna javnost si želi ob spremljanju tekmovanj v smučarskih skokih vse bolj dolge skoke, ki se v več primerih kažejo tudi s skoki in poleti čez točko velikosti skakalnice (L). Geometrija vzdolžnega profila smučarske skakalnice je po pravilih mednarodne smučarske zveze (FIS, 2018) takšna, da za točko velikosti skakalnice sledi spodnji lok skakalnice, ki se potem nadaljuje v ravni del izteka skakalnice. Številni primeri skokov in poletov čez točko velikosti skakalnice kažejo na znatne težave, ki so jih imeli skakalci ob doskoku. Pri doseganju sedanjega svetovnega rekorda 253,5 m na letalnici v Vikersundu (HS240m) je avstrijski skakalec Stefan Kraft izvedel doskok v značilnem nizkem položaju globokega počepa. Ta gibalna faza je trajala približno 0,5 sekunde

na dolžini približno 15 m. Vrhunski avstrijski skakalec je moral pokazati izjemno gibalno spretnost, da je uspel skok opraviti brez dotika telesa s podlago. Njegov polet je meril kar 13,5 m čez točko velikosti skakalnice pri 240 m (HS – hill size). Letalnica v Vikersundu ima pri točki velikosti letalnice HS240m naklon zgolj 26,5 kotnih stopinj. Ta pa se je do točke 253,5 m še značilno pomanjšal. Skakalec je bil tako kot vsi ostali, ki so poleli v bližino rekordne daljave, močno izpostavljen nevarnosti padca in poškodb. Rekordni poleti so glede na sedanjo velikost letalnic preprosto prenevarni za smučarje skakalce (Jošt, Čoh in Vodičar, 2013). V nevarnosti pa so predvsem najboljši skakalci. V ugodnih vetrovnih in vremenskih pogojih so skakalci na planiški letalnici dosegli nekaj daljših poletov, med katerimi je 22. 03. 2018 izstopal polet Avstrijca Gregorja

Schlirenzauerja, ki je pristal pri daljavi najdaljšega poleta na svetu 253,5 m. S šestega zaletnega mesta (zaletna hitrost 102,9 km/h) je poletel na daljavo aktualnega svetovnega rekorda 253,5 m. Vetrovni pogoji za njegov polet so bili odlični (veter + 1,87 m/s). Pri 125 m je letel približno 8,3 m visoko nad hrbtiščem letalnice. Kot letenja glede na horizontalo je znašal v tej točki poleta 36 kotnih stopinj. Pri doskoku je Gregor Schlirenzauer imel visok vpadni kot doskoka 17 kotnih stopinj. Avstrijskega skakalca je polet presenetil in je že pri 220 m začel zavirati polet in se pripravljati na doskok. Doskok avstrijskega skakalca se je zaradi visokega pritiska na telo končal v globokem počepu in z dotikom rok na snežno podlago (Jošt, 2019). Praviloma se večina predolgih skokov konča v globokem počepu in/ali z dotikom podlage, nekateri pa tudi



Slika 1. Sila pritiska na podlago v oporni fazi doskoka se linearno povečuje glede na povečanje vpadnega kota (BM – telesna masa).

s padcem. Tudi trenutno najboljši skalec na svetu Ryoyu Kobayashi je v Planici 24. 3. 2019 poletel 252 m in le s težavo doskočil v globok počep brez dotika. Tudi na njegovo telo so v fazi doskoka in vožnje v spodnjem prehodnem loku planiške letalnice kompleksno delovale velike fizikalne sile in njihovi momenti. Japonski skalec je za 12 m preletel točko velikosti letalnice (HS240m) in pri tem doskočil na pomanjšano strmino doskočišča. Poleg zelo povečane sile pritiska so na telo delovale tudi druge sile ob doskoku (centrifugalna sila, sila trenja, sila aerodinamičnega upora in vzgona). Dokaj pogosto so se predolgi skoki končali tudi s padci in posledično poškodbami smučarjev skakalcev in v zadnjem času smučark skakalk. Vsekakor pa je moč ugotoviti, da so največkrat izvedli predolge skoke prav najboljši smučarji skakalci. Ker njihov doskok ni potekal z doskokom v telemark, so ti skakalci izgubili točke za slog in tudi najvišja mesta na tekmovanjih. Prav to je tudi razlog, da je Mednarodna smučarska zveza v zadnjem času pozorna pri vodenju tekmovanj na predolge skoke in jih poskuša v največji meri omejiti. Samo tako se na tekmovanjih lahko ustvarijo pogoji za varen doskok in izvedbo doskoka v telemark položaju. Pri predolgh skokih preko točke velikosti skakalnice se znatno otežijo pogoji za varen doskok smučarja skakalca. Še zlasti se v oporni fazi doskoka poveča pritisk na telo smučarja skakalca, ki se mu pridružita še centrifugalna sila in sila trenja. Te sile delujejo v določenem časovnem razponu, ki kaže na nek interval, znotraj katerega se celotna faza doskoka izvede. Če skalec doskoči preko točke velikosti skakalnice, je pri prvem kontaktu s podlago šele začel z doskokom. Sila pritiska na telo deluje na telo glede na njeno velikost in gibalne značilnosti skakalca pri doskoku. Hipotetično je čas delovanja sile na podlago povezan z velikostjo njenega celotnega impulza in lahko znaša od 0,3 do 1 sekunde. Prav proučevanje sile pritiska na telo ob doskoku predstavlja tudi osrednji predmet in problem pričujoče raziskave.

■ Predmet in problem

Pri doskoku smučarjev skakalcev preko točke velikosti skakalnice se znatno povečata sila pritiska na podlago in z njo povezana sila trenja ob hkratnem delovanju centrifugalne sile. Sila pritiska na podlago vznikne, ko skalec pri doskoku vzpostavi stik s podlago. Časovni potek delovanja sile

pritiska na podlago je odvisen od gibalnih značilnosti tehnike doskoka in velikosti delujočih sil ter njihovih momentov. Če skalec doskoči na točko velikosti skakalnice, potem to pomeni šele začetek delovanja sile pritiska na podlago. Na podlagi potencialne energije se začenja njena pretvorba v kinetično energijo, ki je matematično izražena z enačbo $W_k = m \cdot v^2 / 2$. Kinetična energija pri doskoku je odvisna od mase sistema skalec-oprema in kvadrata hitrosti, s katero doskoči na podlago. Pritisk na skakalca ob doskoku na skakalnici je odvisen od hitrosti leta (V), vpadnega kota (ϵ) in teže sistema skalec in oprema (G). Na podlago deluje komponenta hitrosti gibanja (V_p) v času doskoka, ki je enaka sinusu vpadnega kota pri doskoku ($\sin \epsilon$). Sila pritiska ob doskoku se porazdeli na celotni čas delovanja te sile (impulz sile) v oporni fazi doskoka. Impulz sile oziroma gibalna količina ($F \cdot t = V_p \cdot m$) v oporni fazi doskoka je prenosorazmerna masi skakalca in opreme (m) ter pravokotni komponenti hitrosti gibanja (V_p) v fazi doskoka ($V_p = \sin \epsilon \cdot V$). Z naraščanjem vpadnega kota pri doskoku se linearno povečuje gibalna količina oziroma impulz sile pritiska ob doskoku (Slika 1).

Pri nizkih vpadnih kotih pri doskoku smučarja skakalca (do 5 kotnih stopinj) dosega impulz sile pritiska na podlago manj kot trikratnik teže sistema skalec in oprema. Pri visokih vpadnih kotih 10 in več kotnih stopinj pa impulz sile pritiska na telo v oporni fazi doskoka lahko doseže celo 10-kratnik telesne teže skakalca in opreme.

Izvedba doskoka v prehodnem loku je precej težja kot na ravnem delu doskočišča skakalnice med točkama P in L. Na ločnem delu spodnjega loka skakalnice vznikne centrifugalna sila (F_{cen}), kar povzroča tudi spremembo sile pritiska na podlago (D). Skalec se na to spremembo odzove s takojšnjo reakcijo mišičnih sil. Moderne konstrukcije skakalnic so z lepo tekočim lokom (po pravilu krožnico) omilile delovanje teh sil. Velikost centrifugalne sile v spodnjem prehodnem loku skakalnice je obratno sorazmeren velikosti radija loka. Spodnji, prehodni lok skakalnice je sicer lahko izražen z obliko krožnice, klotoide, kvadratne parabole oziroma druge oblike krivulje. Minimalna velikost spodnjega radija r_p je določena po formuli $r_p = 0,13 - 0,16 V_0^2$ (Gasser, 2008). V skladu s pravili Mednarodne smučarske zveze (FIS, 2018) mora biti pritisk na telo skakalca na celotnem prehodnem loku vedno manjši od $1,8 \cdot G$.

Centrifugalna sila se matematično izračuna po enačbi:

$F_{cen} = G \cdot v^2 / r \cdot g$ (F_{cen} – centrifugalna sila; G – sila teže; v – zaletna hitrost; r – radius v prehodnem loku; g – težni pospešek)

Na ločnem spodnjem delu skakalnice se spremeni tudi sila pritiska na podlago (D). Ta se poveča zaradi vpliva centrifugalne sile. Matematično se sila pritiska ob doskoku v prehodni lok skakalnice izrazi z enačbo:

$$D = G \cdot \cos Q + (G \cdot v^2 / r \cdot g)$$

Pri doskoku v spodnjem prehodnem loku se mora sila pritiska na skakalca minimizirati. Skalec naj bi ob doskoku imel čim manjši pospešek v horizontalni smeri (a_x) in v vertikalni smeri (a_y). Po Vaverki (1987) se v vsakem trenutku pospešek gibanja ($m \cdot a$) smučarja skakalca lahko matematično opredeli v horizontalni in vertikalni smeri z enačbama:

$$ma_x = F_1 \cos Q - W \cos Q - T \cos Q - F_{cen} \sin Q$$

$$ma_y = G + F_{cen} \cos Q - W \sin Q - T \sin Q - A \cos Q$$

(F_1 – komponenta sile teže v smeri vožnje; G – sila teže telesa; T – sila trenja; W – sila zračnega upora; A – sila vzgona; Q – je kot, ki ga tangenta trajektorije gibanja smučarja skakalca v natančno določenem trenutku sklepa s krivuljo spodnjega prehodnega loka skakalnice). Na težavnost smučarja skakalca pri doskoku v spodnji prehodni lok pa poleg velikosti delujočih sil delujejo tudi njihovi momenti. Z visokim položajem skupnega težišča smučarja skakalca v oporni fazi doskoka se poveča tudi skupni moment delujočih sil, kar predvsem povečuje možnost rotacije telesa skakalca v smeri naprej. Temu se skakalci pri predolgh skoki izognejo tako, da čim bolj znižajo položaj skupnega težišča, pri čemer običajno prehajajo v držo globokega počepa. Pri doskoku v spodnji prehodni lok je izvedba doskoka v »telemark« dokaj nevarno dejanje, saj je težišče telesa relativno visoko in možnost uravnavanja ravnotežnega položaja otežena. Pri doskoku v visok sonožni položaj je momentna situacija dokaj neugodna. Poleg tega se zmožnost mišičnega delovanja pri ublažitvi sile pritiska na podlago pomanjša in zato večje breme prevzame pasivni gibalni aparat telesa (okostje, vezi in sklepi). Ne glede na tehniko doskoka pa se pojavlja ključno vprašanje, povezano s časovno razsežnostjo delovanja sile pritiska na podlago. Prav zaradi tega pred-

stavlja ugotavljanje velikosti sile pritiska na podlago ter njena časovna razporeditev osnovni cilj pričujoče raziskave.

Metode

Raziskava je bila izvedena na mladem skakalcu (Ž. M. – TT 62,7 kg), dne 3. 4. 2018 v biomehanskem laboratoriju Fakultete za šport.

Merjenec je v prvem delu eksperimenta opravil vertikalni odskok na tenziometrijski plošči (v športnih copatih) z namenom, da se ugotovi njegova maksimalna vertikalna hitrost odriva. Ta je pri višini odskoka 50,8 cm znašala 3,15 m/s. Celoten čas odriva je znašal 0,43 sek.

V drugem delu eksperimenta je merjenec napravil vertikalni seskok s postopno dvignjene višine na podlago. Višina seskoka se je dvigovala iz začetnih 20 cm postopoma do višine 2,45 m (20 cm – 2 m/s, 45 cm – 3 m/s, 80 cm – 4 m/s, 125 cm – 5 m/s, 180 cm – 6 m/s, 245 cm – 8 m/s). Večja višina bi že lahko pomenila možnost poškodbe merjenca in zaradi tega ni bila izvedena. Pri posamezni višini je merjenec (Slika 2) doskočil v položaj s srednjo oziroma nizko upognitvijo v kolenih.

Merjenec je skočil s posamezne višine na tenziometrijsko ploščo Kistler. Pri doskoku je poskušal čim bolj enakomerno ublažiti pritisk na telo in čim prej vzpostaviti ravnotežni položaj telesa. S pomočjo tenziometrijske deske je bila grafično posneta krivulja leta, ki je nato bila uporabljena za ročni prikaz največje sile pri doskoku in njene časovne porazdelitve.

Rezultati

Analiza postopnega dvigovanja višine seskoka do 180 cm

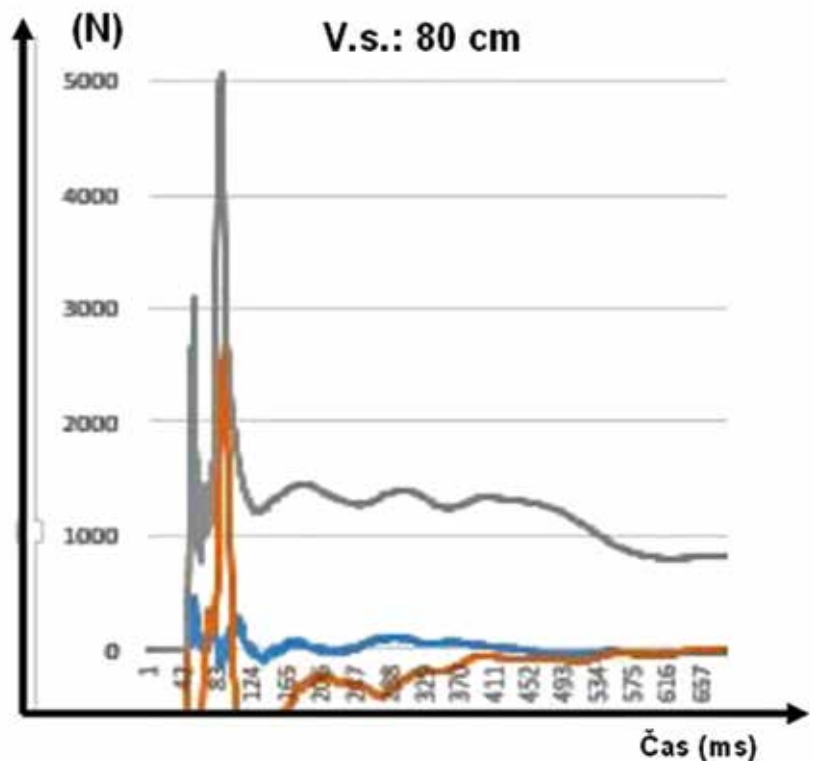
Merjenec je pri vertikalnem odskoku iz skakalnega počepa dosegel višino 51 cm. Odrivni potencial predstavlja enega od ključnih dejavnikov uspešnosti vrhunskih skakalcev Virnavirta in Komi (1994). Njegov potencial odrivne moči ni zadoščal, da bi se vsaj približal višini 80 cm, ki je predstavljala še relativno nizko višino seskoka, pri kateri doseže vertikalno hitrost gibanja 4 m/s. Pri tej višini seskoka skakalec lahko večino sile pritiska na podlago ublaži z ekscentričnim mišičnim delovanjem, še zlasti v predelu kolčnega in kolenskega sklepa. Prav v kolenskem sklepu se po Sasakiju, Tsunodi,



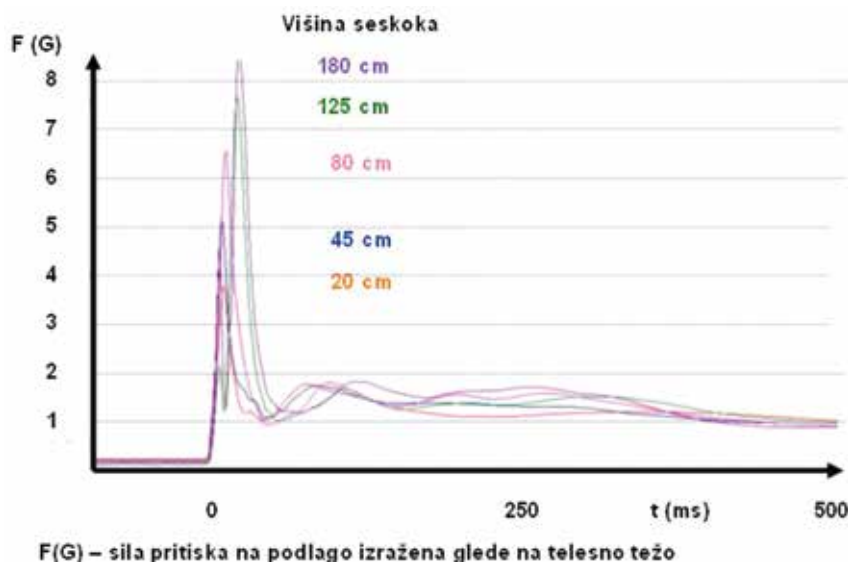
Slika 2. Primer položaja doskoka pri seskoku merjenca z višine 80 cm.

Uchidi, Hoshinu in Onoju (1997) generira tudi največji del potencialne mišične energije pri odskoku. Mišični potencial moči v kolenskem sklepu tako pomembno ublaži delovanje sile pritiska na telo skakalca, pri tem pa mišice iztegovalke delujejo z ekscentričnim mišičnim naprežanjem. Pri seskoku z višine 80 cm (Slika 3) se je krivulja sile pritiska na podlago z manjšimi valovi, v časovnem intervalu 0,5 sekunde gibala pri višini približno 1300 N.

Ob začetku kontaktne faze doskoka je prišlo do visoke kratkotrajne maksimalne sile pritiska na podlago, ki je dosegla približno 1300 N oziroma 2,07-kratno telesno težo merjenca. Potem se je sila pritiska na podlago v dokaj kratkem času znatno znižala. Sledilo je njeno povečanje v daljšem časovnem intervalu (približno 0,38 sekunde) ter na koncu zvezno spuščanje do ravni sile teže telesa skakalca. Značilno povečanje sile pritiska na podlago pri seskoku z višine 80 cm je trajalo približno 0,6 sekunde. Način izražanja moči pri doskoku je tako drugačen, kot ga je moč opaziti pri eksplozivnih odrivih smučarjev skakalcev, kjer gre v skladu s teoretičnim modelom Verhožanskega (1973) za kratkočasno eksplozivno naravo pojavljanja moči (odskok se realizira v času od 0,2 do 0,35 sek.). Pri seskoku je potrebno silo pritiska na telo ublažiti v daljšem času, kar v povprečju znižuje njeno velikost. Takšen pritisk skakalci začutijo pri doskoku, kjer vpadni kot doskoka znaša približno 8 kotnih stopinj. Takšen kot je na splošno najbolj pogosto prisoten pri doskokih smučarjev skakalcev na vseh velikostih skakalnic.



Slika 3. Prikaz krivulje impulza sile na podlago pri seskoku z višine 80 cm (na sliki oznaka V.s.).



Slika 4. Velikost površine impulza sile pritiska na podlago se je postopno povečevala z dvigom višine seskoka.

Velikost površine impulza sile pritiska na podlago se je postopoma zviševala glede na višino seskoka (Slika 4).

V prvi začetni fazi doskoka se je pokazala visoka maksimalna kratkotrajna sila pritiska na podlago, ki je pri višini seskoka 180 cm dosegla celo 8-kratnik telesne teže skakalca. V tej pasivni fazi, ki je trajala približno 10 ms, je kinetična energija seskoka za kratek čas pasivno prešla na telo skakalca. Že po nekaj milisekundah se je vključil aktivni mišični del, ki je nato s povprečno silo pritiska na podlago, ki ni presegala niti 2-kratne

telesne teže, dokaj enakomerno ublažil preostalo kinetično energijo seskoka. Celotna faza doskoka je trajala približno pol sekunde.

Analiza seskoka z višine 245 cm

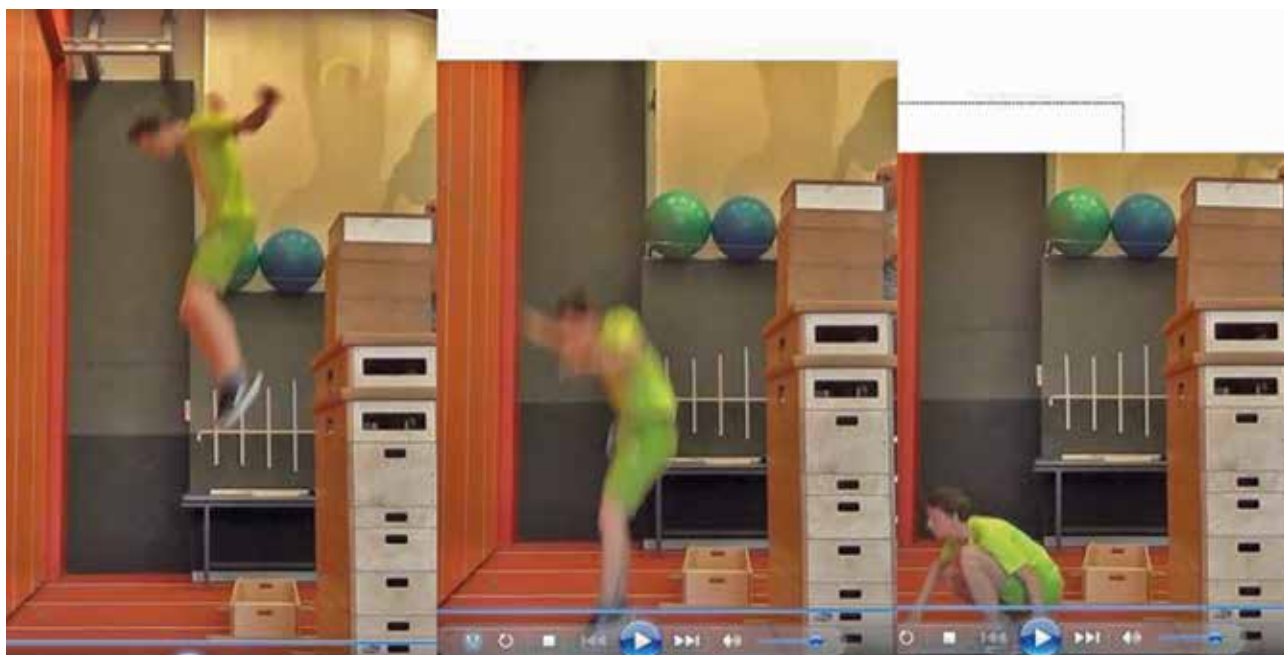
Mladi skakalec pri seskoku z višine 245 cm ni uspel premagati pritiska na telo v srednje visokem položaju z normalno ublažitvijo, ampak je doskok končal v globokem počepu (Slika 5).

Maksimalna sila pritiska na telo pri doskoku je dosegla približno 3500 N v času 0,25

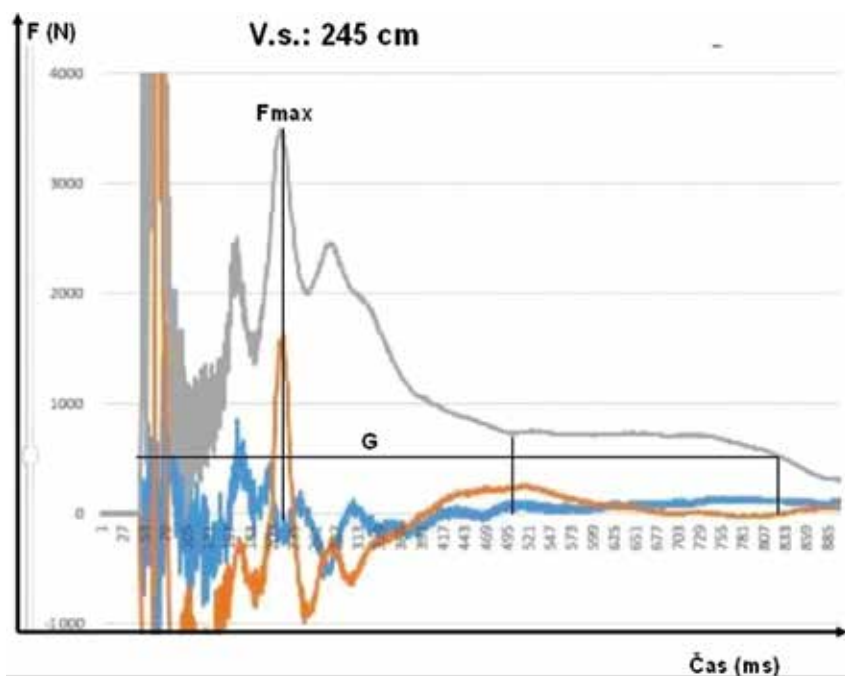
sekunde po začetnem stiku s podlago. Maksimalni pritisk je tako dosegel približno 5,6-kratno telesno težo merjenca. Sila pritiska na podlago je potem strmo upadala in tako v času 0,5 sekunde dosegla raven približno 800 N in nato postopoma rahlo upadla na raven sile teže merjenca (Slika 6). Celoten doskok je z vidika povečanega delovanja sile pritiska na podlago trajal 0,82 sek.

Za mladega skakalca je bil seskok z višine 245 cm dokaj težaven gibalni element. V aktivni mišični fazi doskoka se je maksimalna sila pritiska na podlago izrazito povečala glede na nižje višine seskoka. Merjenec je doskočil na trdo podlago, kar je še bolj oteževalo varen doskok. Nadaljnje povečanje višine seskoka bi merjenca postavilo v preveliko nevarnost in v eksperimentu ni bila izvedljiva. Pri doskoku skakalca na skakalnici del sile pritiska na podlago prevzamejo tudi elastične smuči in skakalni čevlji. Prav tako je lahko del sile ublažen zaradi mehke snežne oziroma plastične podlage. Pritisk na telo pri mladem skakalcu je bil značilno nižji, kot je bil pritisk na telo avstrijskega skakalca Gregorja Schlirenzauerja pri poletu 253,5 m. Ta je matematično znašal približno osemkratnik njegove telesne teže in opreme (cca 5600 N). Tak pritisk bi odlični avstrijski skakalec začutil na telesu, če bi v eksperimentalnih pogojih seskočil na tla z višine približno 3,5 m.

Gregor Schlirenzauer je tako imel pri svojem doskoku še precej višji pritisk, kot ga je



Slika 5. Doskok z višine 2,45 m se je za merjenca končal v globokem počepu.



Slika 6. Potek sile pritiska na podlago pri vertikalnem doskoku mladega slovenskega skakalca z višine 245 cm.

imel pri izvedbi eksperimentalnega seska mladi slovenski skakalec. Tega je moral na skakalnici ublažiti ter obvladati v precej težjih razmerah kot merjenec pri eksperimentalnem doskoku. Na Gregorja pri doskoku ni delovala samo sila pritiska na telo, ampak tudi centrifugalna sila, sila trenja in sila zračnega upora. Omenjene sile so pri doskoku oteževale zmožnost uspešne vzpostavitve ravnotežnega položaja. Če bi avstrijski skakalec poskušal doskočiti v telemark, bi se lahko takšen doskok končal s hudim padcem. Pri doskoku v telemark skakalec ne bi zmožl ublažiti tako velik pritisk. Še težje bi vzpostavil ravnotežni položaj, ki bi mu omogočil varno vožnjo v prehodnem loku. Na planiški letalnici se je sila pritiska pri doskoku avstrijskega skakalca porazdelila v času 0,5 sekunde na razdalji približno 15 m (ob predpostavki, da je bila hitrost ob doskoku 30 metrov na sekundo). Maksimum je sila pritiska na telo skakalca dosegla pri razdalji 261 m. V tej točki ima planiška letalnica strmino približno 15 kotnih stopinj. Manjša strmina pa hipotetično prinaša še večji pritisk na skakalčevo telo. Varen doskok bi odličnemu avstrijskemu skakalcu pri poletu 253,5 m omogočila le večja planiška skakalnica. Ta bi lahko bila, glede na trenutno velikost letalnice HS240m, povečana kar za 60 m. Simulacija poleta 253,5 m na povečani planiški letalnici HS300m je pokazala, da bi

Gregor Schirenzauer lahko poletel kar 304 m (Jošt in Vodičar, 2019).

Predolgi skoki tako zaradi enormno povečanega pritiska na telo ob doskoku predstavljajo enega od največjih problemov sodobnih smučarskih skokov in so že povzročili številne poškodbe smučarjev skakalcev. Pri najboljših skakalcih, ki pogosto skačejo čez točko velikosti skakalnice, lahko predolgi skoki povzročijo hude stresne situacije. Skakalec namreč nikoli ne ve, kako se bo takšen skok končal. Do nevarnosti predolgi skokov prihaja predvsem v procesu treniranja. Trenerji učijo tehniko skoka z željo po najdaljših skokih in zato povečujejo zaletno hitrost. Prav ta pa lahko privede do resnih problemov v fazi doskoka, saj so pritiski preprosto previsoki in vodijo do poškodb hrbtenice, medenice in spodnjih okončin. Trenerji bi morali vedeti za nevarnost, ki jo predstavljajo predolgi skoki na račun podarjene oziroma povečane zaletne hitrosti. Samo ena napaka pri predolgem zaletišču lahko usodno vpliva na kariero smučarja skakalca in jo lahko tudi konča.

Pomemben dejavnik pri preprečevanju tveganja poškodb skakalcev ob doskoku se kaže tudi v spreminjanju geometrije profila doskočišča skakalnic in spodnjega prehodnega loka. Starejše skakalnice z bolj strmim doskočiščem in manjšimi pre-

hodnimi loki so v praksi lahko precej bolj nevarne kot bolj položne sodobne skakalnice z večjimi spodnjimi prehodnimi loki. Za skakalca so bolj ugodni večji prehodni loki, ki se začnejo z maksimizirano vrednostjo loka. Proti koncu prehodnega loka se hitrost skakalca že zmanjšuje, zaradi česar je lahko tudi velikost prehodnega loka nekoliko manjša. Prav tako se v drugem delu prehodnega loka že stabilizira ravnotežje skakalca med vožnjo, s čimer skakalec lažje obvladuje pritisk centrifugalne sile prehodnega loka. Seveda se te učinke lažje dosega na največjih skakalnicah in letalnica.

Kje določiti točko še varne dolžine maksimalnega skoka?

Po trenutnih pravilih FIS se dolžina skoka odmeri v točki začetnega stika s podlago. To pa napačno daje vtis, da je ta točka tudi točka končanja resničnega doskoka. V točki prvega stika s podlago se šele začne kompleksno delovanje sil in njihovih momentov na skakalčevo telo. Mednarodna smučarska zveza FIS omejuje najdaljše skoke s točko velikosti skakalnice (L). Za to točko se nahaja že spodnji prehodni lok skakalnice in prav ta predstavlja nevarnost za skakalca tudi pri doskoku na točko velikosti skakalnice. Sila pritiska na podlago in z njo povezana sila trenja se razvijata v času približno 0,3 sekunde, ko dosežeta svoje maksimalne vrednosti. Njun učinek pa lahko traja tudi do pol sekunde. V tem času po začetku doskoka je skakalec že krepko v prehodnem loku in zaradi manjše strmine hrbtišča skakalnice tudi izpostavljen še večjim silam in njihovim momentom. Zaradi tega bi morala Mednarodna smučarska zveza spremeniti definicijo še varne dolžine skoka in v vzdolžnem profilu začrtati novo točko, ki resnično omogoča varno dolžino skoka.

Problem doskoka se kaže v tem, da točka L pomeni začetek doskoka in ne njegov konec, ki pa je za varnost skakalca ob doskoku ključnega pomena. Ni torej pomembna točka prvega stika ob doskoku, ampak točka zaključka doskoka. Doskok smučarja skakalca pomeni gibalno fazo, ki lahko traja od 0,3 do 1 sekunde. To pomeni, da se doskok izvede na dolžini doskočišča od 3 m na najmanjših skakalnicah do 30 m na največjih letalnica. Visok prirastek sile pritiska na podlago učinkuje na splošno v času 0,5 sekunde. S tega zornega kota bi se tako morala določiti točka začetka še varnega doskoka vsaj na razdalji, ki ustreza hitrosti leta tik pred doskokom in času 0,5 sekunde po začetku oporne faze doskoka.



Slika 7. Smučarska skakalnica HS70m v Velenju, zgrajena leta 2017 (na sliki levo).

Pri hitrosti 30 m/s bi bila ta razdalja 15 m. Omenjena razdalja bi na splošno pomenila približno 5 % velikost sedanje točke velikosti skakalnice L (pri skakalnici HS100m bi ta razdalja znašala 5 m).

Trenutna točka velikosti skakalnice L bi morala tako biti oznaka za konec maksimalne dolžine skoka. Točka L bi tako lahko postala točka z oznako L_2 . Vprašanje je torej: »Kje označiti glede na trenutno točko L začetek še varne maksimalne dolžine skoka, ki bo skakalcu tudi omogočila doskok v telemark?« Ta točka, ki bi se lahko poimenovala kot točka L_1 , bi morala biti odmaknjena od točke L_2 za varno dolžino izvedbe faze doskoka, ta pa meri minimalno 5 % trenutne točke velikosti skakalnice L (na skakalnici HS 10 m to pomeni razdalja 0,5 m in na letalnici HS240m razdaljo 12 m).

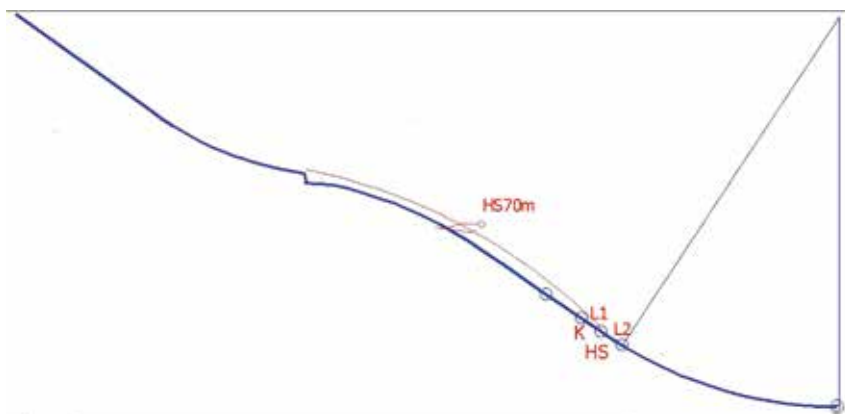
Kako v praksi prilagoditi vzdolžni profil skakalnice varnemu doskoku?

Glede na spoznanja in konkretne ugotovitve te raziskave bi bilo potrebno spremeniti geometrijske točke profila doskočišča smučarske skakalnice med sedanjima točkama K (kalkulacijska točka) in L (točka velikosti skakalnice). Ta sprememba bi morala predvsem temeljiti na dejstvu, da sedanja točka velikosti smučarske skakalnice (L) pomeni oznako za konec doskoka smučarja skakalca in ne njegov začetek. To dejstvo je bilo upoštevano pri izgradnji nove smučarske skakalnice HS70m v Velenju. V ospredju je

bilo načelo varnosti smučarjev skakalcev, še zlasti manj izkušenih in najmlajših skakalcev. Skakalnica je bila zgrajena v letu 2017 s prvimi skoki v mesecu maju (Slika 7).

Dosedanji skoki na treningih in tekmovanjih so pokazali, da je skakalnica dokaj varna za vse skakalce. Še prav posebej so lahko na njej varno in brez strahu skakali najmlajši skakalci (stari od 10 do 12 let), ki jim sicer takšna velikost skakalnice lahko predstavlja velik psihični stres. Z vidika varnosti je bil na skakalnici povečan prehodni lok na zaletišču (R_1), znižana krivulja leta do točke P in določena razdalja varnega doskoka za točko L (70 m) v dolžini 5 m. K varnosti skakalcev prispeva tudi maksimiziran spodnji prehodni lok skakalnice R_2 (Slika 8).

Bistvena sprememba se je zgodila pri načrtovanju točke velikosti skakalnice (HS70m), ki je na Sliki 8 označena kot točka L1. Ta je bila načrtovana kot točka začetka oporne faze doskoka pri dolžini 70 m (L_1), ki tako še vedno predstavlja velikost skakalnice HS70m. Po sedanjih pravilih Mednarodne smučarske zveze bi moral tej točki slediti spodnji prehodni lok skakalnice R_2 , ki pa na velenjski skakalnici sledi šele po točki L2 pri 75 m. Na skakalnici HS70m v Velenju je bil tako določen prostor za varen doskok po točki velikosti skakalnice HS70m (L_1) v dolžini 5 m, do točke L2 pri 75 metrih. Šele za to točko se začne spodnji prehodni lok skakalnice. Skakalnica HS70m je že pridobila homologacijo Mednarodne smučarske zveze FIS. S tem je postala prva skakalnica, ki skalcem omogoča povsem varen doskok v telemark tudi pri doskoku na točko velikosti skakalnice HS70m. Morda bi Mednarodna smučarska zveza FIS s podobnim ukrepanjem lahko preuredila tudi točke velikosti drugih skakalnic, še zlasti največjih. Tako se ne bi več zgodile situacije, ko se najboljši skakalci zaradi svoje varnosti individualno odločajo za skrajšanje zaletišča. Evidenten tovrstni primer se je zgodil na tekmovanju svetovnega pokala 25. 11. 2018 na skakalnici Ruka HS142m na Finskem. Japonec Ryoyu Kobayashi je finalni skok opravil na zahtevo trenerja iz dveh naletov nižje in klub temu doskočil na rekordno daljavo skakalnice 147,5 m. Doskočil je k sreči brez padca in seveda brez telemarka. Pri tem se poraja vprašanje: »Kaj bi se zgodilo, če se skalec ne bi sam odločil za skrajšanje zaletišča?« V kolikor trener na novi velenjski skakalnici HS70m načrtuje zaletno hitrost, ki dopušča skok na točko velikosti skakalnice, potem praktično ne more izpostaviti skakalca nobeni nevarnosti pri do-



Slika 8. Skakalnica HS70m v Velenju ima določen prostor za doskok skakalca za točko velikosti skakalnice HS70m (na sliki razdalja med točkama L1 in L2).

skoku. Če bi vodstva tekmovanj imela na voljo novo točko velikosti skakalnice L1, bi se število predolgh skokov izrazito zmanjšalo in tekmovanja bi bila predvsem za najboljše skakalce precej bolj varna in hkrati tudi bolj poštena. Prav najboljši skakalci bi lahko ob dolgih skokih na novo točko velikosti skakalnice povsem varno doskočili v telemark položaj. Takšne skakalnice bi lahko tudi prispevale k resničnemu razlikovanju smučarjev skakalcev glede na njihovo kvaliteto. Danes je prav gotovo ta vidik v smučarskih skokih še preveč zapostavljen.

■ Literatura

1. Gasser, H.H. (2008). *Grundlagen der Auslegung des Langsprofils einer Skisprungschanze*. Bern: Internationaler Ski-verband.
2. Jošt, B. (2019). Težnje po rekordnem poletu preko 253 m – utopijska ali realnost?. *Sport*, 67 (1-2), 185v92.
3. Jošt, B., Čoh, M. in Vodičar, J. (2013). *Design of a ski flying hill with the profile HS300m*. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
4. Jošt, B. in Vodičar, J. (2019). *Development of the Ski jump hill profile from the viewpoint of Ski jumping technique*. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
5. Sasaki, T., Tsunoda, K., Uchida, E., Hoshino, H. in Ono, M. (1997). Joint Power Production in Take-Off Action during Ski-jumping. In: (Müller, E., Schwameder, H., Kornaxl, E., Raschner, C., eds.). *Proceedings of the first International Congress on Skiing and Science St. Christoph a. Arlberg*. Austria, January 7 -13, 1996; 49–60.
6. Vaverka, F. (1987). *Biomechanika skoku na lyžich*. Olomouc: Univerzita Palackeho.
7. Verhošanski, J. W. in Tatjan, W. W. (1973). Komponenten und funktionell Struktur der Explosivkraft des Menschen. *Teorija i praktika fizičeskoj kultury* 36 (6).
8. Virnavirta, M. in Komi, P. V. (1994). Takeoff analysis of a champion ski jumper. *Journal of Biomechanics*, 27(6), 695.

Viri:

1. FIS (2018). Construction Norm for Jumping Hills (16. 11. 2018).
2. FIS (2019). International ski competition rules in Ski jumping – Book III (precisions 2019). Oberhofen: International Ski federation.

prof. dr. Bojan Jošt, prof. šp. vzg.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
bojan.jost@fsp.uni-lj.si